

混凝土与钢结构结合的建筑设计实践

鹿维丹¹ 郝燃²

1 大连大学, 辽宁大连, 116622;

2 大连大学附属新华医院, 辽宁大连, 116000;

摘要: 混凝土与钢结构结合的建筑形式, 因融合了两者材料的优势, 在现代建筑设计中得到广泛应用。本文通过对混凝土与钢结构结合的设计原则与方法进行深入剖析, 并结合实际案例探讨其在不同建筑类型中的应用, 旨在为相关建筑设计实践提供有益的参考与借鉴, 推动该结构形式在建筑领域的进一步发展与创新。

关键词: 混凝土结构; 钢结构; 建筑设计; 结构结合

DOI: 10.69979/3029-2727.25.10.016

引言

随着建筑技术发展, 建筑结构形式日益多样。混凝土结构和钢结构是重要结构形式, 各有特点。混凝土结构抗压、耐久、耐火性好, 成本低, 造型可塑性强。钢结构高强度、轻质、施工快、抗震好, 适用于大跨度、高层和超高层建筑。将二者结合可取长补短, 创造更具优势的建筑结构体系, 满足现代建筑多元需求。这种结合形式在建筑设计中应用渐广, 对推动建筑行业发展意义重大。

1 混凝土与钢结构结合的类型

1.1 组合梁结构

组合梁结构由钢梁和钢筋混凝土板通过连接件组合而成。在这种结构中, 钢梁主要承受拉力和剪力, 而钢筋混凝土板则承受压力, 二者通过连接件协同工作, 共同承担荷载。例如, 在某商业建筑的楼面结构设计中, 采用了钢梁与混凝土板组合的梁结构。钢梁选用 Q345 钢材, 具有较高的强度和良好的塑性。混凝土板采用 C30 混凝土, 抗压强度满足设计要求。连接件采用圆柱头焊钉, 通过专用设备焊接在钢梁上, 有效保证了钢梁与混凝土板之间的协同工作性能。组合梁结构充分发挥了钢材的抗拉性能和混凝土的抗压性能, 与传统的钢筋混凝土梁相比, 在相同荷载条件下, 可减小梁的截面尺寸, 增加建筑空间的使用效率, 同时降低结构自重, 减少基础工程的造价。

1.2 组合柱结构

组合柱结构常见的形式有钢管混凝土柱和型钢混凝土柱。钢管混凝土柱是在钢管内填充混凝土形成, 钢管对内部混凝土起到约束作用, 提高了混凝土的抗压强度和变形能力, 同时混凝土也防止了钢管的局部屈曲, 二者相互协同, 使柱子具有较高的承载能力。型钢混凝

土柱则是在钢筋混凝土柱中设置型钢, 型钢与钢筋、混凝土共同工作, 提高了柱子的抗震性能和承载能力。在某高层建筑的框架柱设计中, 采用了钢管混凝土柱。钢管选用 Q390 钢材, 管径和壁厚根据计算确定。内部填充 C40 混凝土, 通过优化配合比, 确保混凝土的流动性和密实度。钢管混凝土柱在该建筑中表现出良好的力学性能, 有效减小了柱的截面尺寸, 增加了建筑内部的使用空间, 同时在地震作用下, 展现出优异的抗震性能, 保障了建筑的安全。

1.3 钢-混凝土混合结构体系

钢-混凝土混合结构体系是指在同一建筑中, 部分结构采用钢结构, 部分结构采用混凝土结构, 二者协同工作共同抵抗荷载。例如, 在某超高层建筑中, 底部若干层采用型钢混凝土框架-钢筋混凝土核心筒结构, 上部采用钢结构框架-混凝土核心筒结构。底部采用型钢混凝土框架, 利用其较高的承载能力和良好的抗震性能, 承受较大的竖向荷载和水平地震作用。上部采用钢结构框架, 可减轻结构自重, 降低风荷载作用下的结构响应。通过合理设计两种结构的过渡连接部位, 确保了整个结构体系的协同工作性能。这种混合结构体系充分发挥了混凝土结构和钢结构在不同部位的优势, 满足了超高层建筑对结构性能和建筑功能的要求。

2 混凝土与钢结构结合的设计原则

2.1 力学性能协调原则

在设计混凝土与钢结构结合的建筑时, 要确保两种结构材料在力学性能上相互协调, 共同有效地抵抗各种荷载作用。例如, 在组合梁设计中, 钢梁与混凝土板之间的连接件设计至关重要, 其布置间距和数量需根据二者之间的剪力传递要求进行精确计算, 以保证钢梁和混凝土板在受力过程中能够协同变形, 避免出现相对滑移, 使组合梁的整体力学性能得以充分发挥。在组合柱设计

中，要合理确定钢管或型钢与混凝土的强度匹配关系，使钢管或型钢对混凝土的约束作用达到最佳效果，从而提高柱子的承载能力和变形能力。

2.2 连接可靠原则

可靠的连接是保证混凝土与钢结构协同工作的关键。连接节点的设计应满足强度、刚度和延性的要求。对于预埋件连接，要保证预埋件在混凝土浇筑过程中的准确定位，以及预埋件与混凝土之间的粘结锚固性能。例如，在工业厂房中，钢吊车梁与混凝土柱通过预埋钢板连接，预埋钢板的锚筋长度、直径以及布置方式需根据吊车梁传递的荷载进行详细计算，确保连接节点能够可靠地传递荷载。对于连接件连接，如栓钉连接，要选择合适的栓钉规格和焊接工艺，保证栓钉与钢梁和混凝土之间的连接牢固。在一些大型复杂结构中，采用组合连接方式时，要充分考虑不同连接方式之间的协同作用，提高连接节点的整体可靠性。

2.3 施工可行性原则

设计方案应充分考虑施工的可行性，确保在实际施工过程中能够顺利实现设计意图。在混凝土与钢结构结合的建筑中，由于涉及两种不同材料的施工工艺，施工组织和协调尤为重要。例如，在型钢混凝土结构施工中，要合理安排型钢骨架的安装、钢筋绑扎和混凝土浇筑的顺序。型钢骨架作为施工的承重结构，可在安装完成后为后续的钢筋绑扎和混凝土浇筑提供操作平台，但要注意型钢骨架的稳定性和垂直度控制。在混凝土浇筑过程中，要考虑到型钢的存在对混凝土流动性和振捣效果的影响，选择合适的浇筑方法和振捣设备，确保混凝土的密实度。同时，设计时应尽量简化连接节点的构造，便于施工操作，提高施工效率。

2.4 经济合理性原则

在满足建筑功能和结构安全的前提下，要注重经济合理性。混凝土与钢结构结合的建筑在材料选用和结构设计上有多种选择，应通过技术经济分析，选择最优方案。例如，在确定组合梁结构中钢梁和混凝土板的截面尺寸时，要综合考虑材料成本、施工成本和结构性能。适当增加钢梁的截面尺寸，可能会减少混凝土板的厚度，虽然钢材成本有所增加，但可降低混凝土用量和模板费用，同时减轻结构自重，减少基础工程的造价。在选择钢结构材料时，要根据结构受力特点和市场价格，合理选用钢材的牌号和规格，避免过度追求高性能钢材而增加不必要的成本。对于一些对建筑外观和空间要求较高的项目，可通过优化结构设计，减少不必要的结构构件，提高建筑空间的利用率，从而实现经济效益的最大化。

3 混凝土与钢结构结合的设计方法

3.1 结构计算方法

弹性分析方法是混凝土与钢结构结合建筑结构设计常用方法之一。弹性分析时，将混凝土与钢结构视为整体，按弹性力学原理计算结构内力和变形。组合梁结构采用梁单元模型，把钢梁和混凝土板作为组合梁单元分析，考虑连接件作用计算内力和变形；组合柱结构采用柱单元模型，考虑钢管或型钢与混凝土相互作用计算内力和变形。钢-混凝土混合结构体系依不同结构部分特点分别建模分析，通过连接节点约束条件实现整体协同分析。该方法适用于多数建筑结构初步设计阶段，能提供基本内力和变形数据。

弹塑性分析方法能更真实反映结构在地震等强烈荷载下的力学性能。混凝土与钢结构结合建筑进入弹塑性阶段时，混凝土和钢材力学性能、结构内力分布和变形模式会改变。采用此方法需建立反映混凝土和钢材弹塑性本构关系的模型，混凝土用塑性损伤模型，钢材用双线性随动强化模型等。通过有限元软件等工具进行弹塑性时程分析或静力弹塑性分析，获取结构薄弱部位、塑性铰分布和变形能力等信息，为抗震设计提供可靠依据。该方法常用于重要建筑或高烈度抗震设防地区建筑结构设计。

3.2 连接节点设计方法

预埋件连接设计包括选型、布置和锚固计算。选型根据连接部位受力与施工要求确定，常见有预埋钢板、预埋锚栓等。布置时要保证位置准确以满足结构传力要求，如混凝土柱与钢梁连接中，预埋钢板要布置在柱顶合适位置，其尺寸和厚度依钢梁荷载设计。锚固计算是关键，要确保预埋件与混凝土有足够的粘结锚固力传递内力，预埋钢板锚筋的直径、长度和数量需计算确定，计算时要考虑混凝土强度、锚筋钢材性能和锚固长度等因素。

连接件连接设计针对栓钉、槽钢连接件等。以栓钉连接为例，先确定规格和数量，其直径和长度依钢梁与混凝土板剪力传递要求选择，通过计算抗剪承载力确定数量。布置时要保证间距均匀，满足构造要求，还要考虑焊接质量，选择合适设备和工艺保证焊接牢固。槽钢连接件要根据受力特点设计，计算抗剪能力和对混凝土的约束作用，合理确定尺寸、布置间距及与钢梁连接方式。

组合连接设计将多种连接方式组合以满足复杂受力要求，要考虑不同连接方式的协同工作原理。如栓钉+预埋件组合连接中，预埋件用于定位和传递部分荷载，栓钉增强抗剪能力，设计时分别计算承载能力并合理分配荷载比例。螺栓连接+焊接组合连接中，螺栓用于临时固定和安装调整，焊接用于永久连接，要确保螺栓拧

紧力矩和焊接质量符合要求，保证连接节点强度和刚度。

3.3 防火与防腐设计方法

钢结构防火性能差，在混凝土与钢结构结合建筑中，需对钢结构部分防火设计。常用防火措施有喷涂防火涂料、包覆防火板材。选防火涂料要根据建筑使用性质、火灾危险性及钢结构类型等因素，选合适品种和厚度。如高层建筑钢结构柱承载竖向荷载大、防火要求高，可能需选厚型防火涂料，涂层厚 20~50mm，保证火灾时钢结构温度不超临界温度，维持承载能力。包覆防火板材要选有良好防火性能和一定强度的板材，如纤维水泥板、岩棉板等，通过合适构造固定在钢结构表面。同时，防火设计要考虑混凝土对钢结构的防火保护作用，利用其热惰性降低成本。

钢结构易受外界侵蚀而腐蚀，影响耐久性。防腐设计包括表面处理和防腐涂层设计。表面处理是基础，钢结构加工完成后要除锈，常用喷砂、手工除锈等方法，重要结构除锈等级不低于 Sa2.5 级。表面处理后及时涂刷防腐涂层，一般由底漆、中间漆和面漆组成，底漆防锈，中间漆增加厚度和附着力，面漆保护并装饰。选防腐涂层材料要根据建筑所处环境条件，如湿度、酸碱度等，选合适品种和厚度。如海边等腐蚀强的环境，可选耐盐雾防腐涂料，涂层总厚 200~300 μm。与混凝土接触的钢结构部分，要防止氯离子腐蚀，可采用特殊防腐处理，如涂环氧沥青漆。

4 混凝土与钢结构结合在建筑设计中的应用案例分析

4.1 某商业综合体建筑

某商业综合体建筑位于城市核心区域，总建面 15 万平方米，地上 10 层、地下 3 层，集多种功能于一体，造型独特，对结构设计和空间利用要求高。结构设计采用混凝土与钢结构结合形式。地下室用钢筋混凝土框架-剪力墙结构，利用其防水和承载能力，满足停车场和设备用房功能。地上商业区域大空间用钢-混凝土组合梁楼盖结构，钢梁选 H 型钢与混凝土板栓钉连接，满足大空间无柱要求，提高承载和空间使用效率。中庭用钢结构桁架作屋面支撑，跨度 30 米，与混凝土柱连接形成稳定体系，用 Q345 钢材、焊接节点保证强度和刚度。高层办公区域用型钢混凝土框架-钢筋混凝土核心筒结构，发挥抗震和抗侧力能力，满足结构安全要求。实际使用中，该设计效果良好。商业区域组合梁楼盖为商家提供灵活布局，促进商业活动；中庭桁架屋面美观且采光好，营造舒适环境；高层办公结构抗震性能好，保障人员安全。同时，合理设计控制了造价，实现了经济效益和社会效益统一。

4.2 某高层住宅建筑

某高层住宅位于城市新区，总建面 8 万平方米，地上 30 层、地下 2 层。建筑设计重居住舒适性与外观美观性，兼顾结构安全与经济。结构采用钢-混凝土混合体系，底部 3 层为型钢混凝土框架-钢筋混凝土剪力墙结构，利用其高承载与抗震性能承受底部荷载；上部 27 层是钢结构框架-钢筋混凝土核心筒结构，减轻自重、降低风荷载响应。楼板用压型钢板组合楼板，施工时作模板，使用时与混凝土共同工作，提升承载与施工效率。外墙用预制钢筋混凝土外挂墙板，与钢结构框架通过预埋件连接，保证外墙性能，提高工业化程度。该建筑投入使用获业主好评，混合结构在保障安全时增加使用面积、提升舒适性；楼板与墙板应用缩短工期、降低成本。建筑外观简洁，体现现代风格，且在节能、环保方面效果好，符合可持续发展要求。

5 结论与展望

混凝土与钢结构结合的建筑设计形式，因力学性能、施工可行性和经济合理性等优势，在现代建筑领域应用前景广阔。合理选结合类型、遵循设计原则、用科学方法并结合案例优化设计，可创造安全、舒适、美观且经济的建筑。不过，该结构形式在设计理论和施工技术上有需完善处，如复杂连接节点精细化设计、不同结构材料协同工作长期性能研究等。未来，随建筑技术进步创新，此设计将在更多领域应用发展，推动建筑行业可持续发展。同时，需建筑设计师、结构工程师和施工人员等密切合作，探索实践，提升设计和施工水平，满足多样建筑需求。

参考文献

- [1] 李超, 范希莹, 李东岳. 一个钢结构与混凝土结构混合建筑的结构设计 [J]. 科技信息, 2010. DOI: CNKI: S:N: KJXX. 0. 2010-13-224.
- [2] 孙云飞. 钢结构与混凝土结构在建筑设计中的特点及应用 [J]. 2024(1): 52-54.
- [3] 朱建霖. 混凝土与钢结构工程中建筑工程施工技术运用研究 [J]. 装饰装修天地, 2023: 235-237. DOI: 10. 12257/j. issn. 1006-2122. 2023. 18. 079.

作者简介：鹿维丹（1982. 01. 23-），女，汉族，大连人，硕士，高级工程师，该同志从事结构专业专业领域工作 21 年并具有结构工程、造价高级职称。

郝燃（1982. 12. 27-），男，汉族，大连人，硕士，高级工程师，该同志从事结构专业专业领域工作 21 年并具有结构工程高级职称。